

TÓPICO 1 – (Patologías de las construcciones)

Petrografía del hormigón de obras del sur de la Prov. de Buenos Aires

C. Priano^{1,a}, S. Marfil^{2,b}, P. Maiza^{3,c}, L. Señas^{1,d}

¹ Dpto. Ingeniería, UNS, Av. Alem 1253. (8000) - Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Te: 0291-4595103. Int. 3223.

² Dpto. Geología, UNS, Av. Alem 1253. (8000) - Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Investigador Independiente CIC-INGEOSUR.

³ Dpto. Geología, UNS, Av. Alem 1253. (8000) - Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Investigador Principal CONICET- INGEOSUR.

^a cpriano@uns.edu.ar , ^b smarfil@uns.edu.ar , ^c pmaiza@uns.edu.ar , ^d lsenas@uns.edu.ar

Palabras-clave: RAS, agregados reactivos, microclima

Resumen

Se relevó un conjunto de estructuras de hormigón emplazadas en la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia. Se determinó la composición petrográfica-mineralógica de los agregados y su relación con el desarrollo de la reacción álcali-agregado. Se evaluaron los productos de reacción por difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

Los agregados gruesos y finos de los hormigones estudiados tienen, en general, composición litológica semejante. Desde el punto de vista petrográfico se clasifican como potencialmente reactivos frente a la reacción álcali-sílice. A pesar de ello, la mayoría de las obras estudiadas no están afectadas por esta patología.

Los casos en que se observó el desarrollo de la reacción, están vinculados al uso de un tipo de cemento con alto contenido de álcalis y al microclima generado en inmediaciones de los elementos estructurales afectados.

A partir de los casos de estudio fue posible concluir que en algunas de las obras no hubo una correcta planificación al elegir los materiales, ya que se utilizaron agregados potencialmente reactivos frente a la RAS sin un control en el contenido de álcali del cemento y/o de los factores externos medioambientales.

Introducción

La reacción álcali-sílice (RAS) es una reacción química que se produce entre algunos agregados reactivos y los álcalis del cemento, en presencia de humedad suficiente. Como consecuencia de la reacción se genera un gel higroscópico que al hidratarse aumenta su volumen, originando tensiones de tracción con la consecuente fisuración del hormigón. Debido a que el deterioro que produce este tipo de reacciones es lento, el riesgo de fallas catastróficas es muy bajo [1, 2, 3]. Se generan problemas de servicio, y se pueden exacerbar otros mecanismos de deterioro, como por ejemplo, los relacionados a corrosión por ingreso de cloruros, o las exposiciones a sulfatos u oxidación por proximidad de la armadura a la superficie.

En Argentina existen diversas obras afectadas por esta patología, la mayoría son pavimentos ubicados en regiones con diferentes condiciones climáticas. En la década del '50 se observó el primer pavimento con reacción, luego se presentaron otras obras afectadas como losas de aeropuertos, diques, puentes y acueductos [4].

En la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia, se han estudiado diversas estructuras afectadas por esta patología [5, 6, 7, 8]. Además, se han caracterizado los principales yacimientos y canteras proveedores de agregados fino y grueso, desde el punto de vista de su potencial reactividad frente a los álcalis [7, 9, 10].

Existen dos canteras que proveen la piedra partida a la zona: Cerros Colorados y Pigüé, ubicadas en el partido de Tornquist en proximidades a Sierra de La Ventana, en las cuales se explota granito y cuarcita respectivamente. Las canteras de Villalonga y Bajo San José son proveedoras de canto rodado. Las principales canteras que comercializan el agregado fino (arena natural) son las ubicadas en proximidades de las localidades de Médanos, Punta Alta, Villalonga y Bajo San José (en la intersección de la ruta provincial N° 51 y el río Sauce Grande).

Para que los efectos de esta reacción alcancen un grado significativo, no basta con la sola presencia de los elementos participantes, sino también es necesario que se hallen en proporciones y condiciones específicas.

En cuanto a la presencia de álcalis, se regula su contenido en el cemento portland, para que la concentración en la solución de poros del hormigón posea un determinado nivel de inocuidad, por encima del cual existen suficientes álcalis disponibles para reaccionar con los agregados que sean reactivos. Para establecer esta limitación de los álcalis, cuando se utilizan agregados que son reactivos, se manejan dos criterios: en la práctica tradicional estadounidense y conforme a nuestro reglamento CIRSOC, se regula el contenido de álcalis totales en el cemento portland, limitándolo a un máximo de 0,60 % (expresado como óxido de sodio equivalente: $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O} < 0,60 \%$) [11]. Conforme a la práctica inglesa, se controla el contenido unitario de álcalis en la mezcla de hormigón, prescribiendo que en ésta no se incluya más de 3 kg de álcalis por m^3 de hormigón (expresado como óxido de sodio equivalente), que pueden ser aportados por el cemento y los demás componentes.

La humedad es un requisito indispensable para que se produzca la expansión debida a la reacción álcali-sílice. Como la mayoría de las reacciones químicas que se desarrollan en el hormigón, necesitan agua, sin embargo, en este caso el agua tiene una doble misión: en primer lugar es necesaria para el transporte de los iones alcalinos e hidroxilos para que tenga lugar la reacción, y en segundo lugar es absorbida por el gel, formado como consecuencia de la reacción, aumenta el volumen y genera una expansión que origina el deterioro del hormigón. Así, experiencias llevadas a cabo demuestran que con humedades relativas por debajo del 70% la expansión es insignificante, pero cuando se sitúa por encima del 80% la expansión aumenta drásticamente [12].

Un caso particular se puede presentar al deshidratarse los geles de reacción por el secado parcial del hormigón, dado que pueden rehidratarse y volver a expandir, cuando el hormigón está nuevamente en contacto con humedad. Sin embargo, los geles parcialmente deshidratados y carbonatados, difícilmente reproducen las propiedades expansivas [13].

La mayor incidencia de estructuras en la que se han detectado lesiones producidas por la RAS, se encuentran en ambientes francamente húmedos como presas, puentes, túneles, pavimentos, etc. No se sabe que causa más daño, si una saturación continua o ciclos de humedad y secado. Sin embargo es conocido que si se alternan estos últimos, los álcalis se concentran cerca de la zona seca e inducen a una mayor reacción. Cualquier suministro externo de agua a una estructura afectada por la RAS, irreversiblemente aumenta la expansión del hormigón. Dicha expansión y la formación de productos de reacción podrán detenerse si el recurso de humedad disponible cesa, pero ambos podrán reactivarse rápidamente cuando las condiciones iniciales se restablezcan [3].

En particular, en las obras emplazadas en ambiente marino, los sulfatos presentes en el agua de mar pueden penetrar a través de los poros capilares de la matriz cementicia del hormigón de recubrimiento. Esta situación acelera los efectos de la reacción álcali-sílice ya que los sulfatos reaccionan con la portlandita y originan hidróxidos alcalinos, los cuales tienen una participación activa en la reacción con agregados deletéreos. Además, el aporte del ión Na^+ contribuye a incrementar la reacción con la sílice lábil o con el cuarzo tensionado. Debe sumarse un efecto secundario del ión Cl^- que produce una humectación intensa, colaborando en el desarrollo de la RAS [14].

En este trabajo se presenta el relevamiento de un conjunto de estructuras ubicadas en la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia, construidas en diferentes etapas tecnológicas, con diferentes usos y ubicadas en ambientes de distinta agresividad al material.

Materiales y métodos

Las obras estudiadas fueron ejecutadas entre los años 1950 y 1995, esto implica que la edad de los hormigones oscila entre 17 y 62 años.

Se seleccionaron ocho estructuras emplazadas en ambiente urbano (ciudad de Bahía Blanca), cuatro en ambiente rural (zona de influencia) y tres en ambiente marino (una en Ing. White y dos en Monte hermoso).

La Fig. 1 muestra las estructuras estudiadas en el ambiente urbano (U). En la Fig. 2 se detallan los pavimentos urbanos. En las referencias se detallan los años de ejecución de cada obra y en algunos casos, de reparaciones posteriores.

En la Fig. 3 se puede observar la ubicación de las estructuras relevadas en ambientes rural (R) y marino (M).

En cada una de las obras relevadas se tomaron muestras de hormigón y en ciertos casos, se pudo acceder a calar testigos cilíndricos de 10 cm de diámetro y altura variable según el elemento estructural analizado.

Se determinó la composición petrográfico-mineralógica de los agregados finos y gruesos, poniendo especial énfasis en la presencia de especies deletéreas y minerales de alteración que puedan desarrollar reacciones expansivas en el hormigón. Se estudió el estado del hormigón, la relación agregado mortero, desarrollo de fisuras, presencia de productos de neoformación, en especial en el interior de cavidades de aire accidentalmente atrapado.

Los estudios petrográficos se realizaron con estereomicroscopio y microscopio de polarización Olympus BH-2 trinocular, con cámara de video y programas computarizados para el tratamiento de imágenes.



Figura 1: Plano de ubicación de estructuras relevadas en ambiente urbano

Referencias Fig. 1:

- U1: Canal Maldonado (1950, 1973 y 1987)
- U2: Estructura Centro Cívico (1968)
- U3: Autovía de acceso a la ciudad de Bahía Blanca (1995)
- U4: Corresponde a 5 sectores de pavimentos urbanos que se detallan en la figura 2 (1 a 5)



Figura 2: Plano de ubicación de los pavimentos urbanos estudiados

Referencias Fig. 2:

1. Sector Centro: Calle Vicente López (1955)
2. Barrio Universitario: Av. Alem (1960)
3. Acceso al Centro Científico Tecnológico CONICET (CCT) (1985)
4. Sector noroeste: a) Calle Sixto Laspiur (1970)
b) Calle Catamarca (1990)
5. Villa Rosas: Calle Tarapacá (1972)



Figura 3: Plano de ubicación de estructuras relevadas en ambiente rural y marino

Referencias Fig. 3:

- R1: Puentes sobre la ruta provincial N° 51 (1950)
- R2: Dique Paso de las Piedras (1970)
- R3: Aeropuerto Comandante Espora (1962 y 1985)
- R4: Ruta de circunvalación a la ciudad de Bahía Blanca (1988 y 1993)
- M1: Viaducto en Ing. White (1980)
- M2: Espigones en Monte Hermoso (1971)
- M3: Estructura Av. Argentina en Monte Hermoso (1985)

Resultados

Ambiente Urbano

U1- Canal Maldonado:

Es una obra hidráulica constituida por un canal de 6 km de longitud y un vertedero, que permiten la regulación del caudal de agua que escurre por el

arroyo Napostá en épocas de fuertes crecidas, derivando el sobrante hacia el canal aliviador Maldonado (Fig. 1: U1). El hormigón del canal, construido en el año 1950 fue sometido a 2 reparaciones, una en 1973 y otra en 1987 [15].

El hormigón original está constituido por canto rodado polimíctico en cuya composición predominan las rocas volcánicas con pastas vítreas. En la primera reparación se utilizó como agregado grueso piedra partida granítica y en la última, canto rodado de composición litológica similar al original.

El agregado fino está constituido por una arena natural de origen marino, con abundantes conchillas, partículas de rocas volcánicas, vidrio fresco, cuarzo, rocas graníticas y feldespato. El hormigón se presenta sano, el estado de conservación es muy bueno, sólo se observaron microfisuras muy finas y vacías que no afectan a los clastos del agregado. Hay cavidades de aire accidental rellenas con carbonato de calcio y ettringita. Los contactos agregado-mortero son netos. No se observaron fenómenos de reacción.

Los estudios petrográficos no detectaron la presencia de productos de neoformación ni indicios de desarrollo de reacciones deletéreas que pudieran ser causa de la rotura de las losas. Si bien el agregado grueso utilizado en la estructura original y en la reparación de 1987 (canto rodado) son de características similares, el hormigón elaborado con este último presenta una mayor porosidad.

U2 – Estructura Centro Cívico:

La estructura fue construida en el centro de la ciudad de Bahía Blanca en el año 1968, con el propósito de poner en funcionamiento el Centro Cívico del Municipio (Fig. 1: U2). Es de hormigón armado con dos subsuelos, planta baja y nueve pisos. Apenas terminado el esqueleto de hormigón, se canceló el proyecto y se cedió la obra a la provincia de Buenos Aires [16].

El agregado grueso está constituido por canto rodado en cuya composición predominan las rocas volcánicas. El agregado fino es una arena de origen marino, de composición litológica similar con abundante contenido de valvas carbonáticas. Los estudios petrográficos no detectaron la presencia de productos de neoformación ni indicios de desarrollo de reacciones deletéreas.

U3 - Autovía de acceso a la ciudad de Bahía Blanca:

La autovía de acceso a la ciudad de Bahía Blanca fue construida en el año 1995 y está constituida por pavimento rígido con una extensión de 3 km. (Fig. 1: U3). En el transcurso de su vida en servicio, se han registrado cierre de juntas de contracción, fracturas de placas, levantamientos de losas y desarrollo de reacción álcali-sílice [17].

Se determinó que el agregado grueso está constituido por una piedra partida granítica. El agregado fino es una arena natural de origen marino. Se observaron abundantes productos de neoformación alrededor de las partículas del agregado grueso y sobre el mortero. Las cavidades de aire accidental se presentan parcialmente rellenas con ettringita. Los contactos agregado grueso-mortero no son netos, se encuentran parcialmente separados y rellenos por un material blanquecino. Con microscopio de polarización sobre secciones delgadas se observó que la roca granítica que constituye el agregado grueso está formada por fenocristales de plagioclasa subhedrales y ortosa, con cuarzo

anhedral intersticial y escasos minerales ferromagnesianos. El cuarzo presenta extinción ondulante. La alteración es incipiente (argilización de minerales félsicos y máficos). Si bien se identificaron especies deletéreas en la composición petrográfica-mineralógica de los agregados, no se observaron evidencias del desarrollo de reacciones expansivas.

U4 - Pavimentos urbanos (Fig. 1: U4 y Fig. 2):

Se tomaron muestras de hormigón de cuatro sectores de la ciudad, de diferente edad y con distintos signos de deterioro: estrechamiento de juntas, levantamiento de placas, fisuramiento en forma de mapa.

En todos los pavimentos relevados, el agregado fino es una arena natural de origen eólico o marino de similar composición. Presentan un alto contenido de rocas volcánicas vítreas con sus pastas alteradas, generalmente argilizadas, vidrio volcánico fresco y cuarzo tensionado con extinción ondulante. Estos agregados fueron evaluados por los métodos de ensayos convencionales (barras de mortero, método químico y examen petrográfico) como potencialmente reactivos frente a la reacción álcali - sílice [6, 18, 19].

Los agregados gruesos utilizados son canto rodado y piedra partida. El canto rodado tiene un elevado porcentaje de vulcanitas vítreas, calificadas como deletéreas. La piedra partida utilizada es granito inocuo y cuarcita. Esta última fue calificada como potencialmente reactiva (de reacción lenta), por los métodos de ensayo convencionales [6].

En los hormigones del sector centro y barrio universitario (Fig. 2: 1 y 2) se observó ettringita primaria y portlandita en el interior de cavidades de aire accidental. No se observó microfisuramiento ni coronas de reacción en los contactos agregado-mortero. No se identificaron minerales de neoformación atribuibles a la RAS.

En los hormigones de parte del sector noroeste de la ciudad y Villa Rosas (Fig. 2: 4a y 5), se observó leve microfisuramiento y desarrollo de materiales de neoformación, principalmente ettringita.

Los correspondientes al camino de acceso al CCT y otra zona del barrio noroeste (Fig. 2: 3 y 4.b) muestran un avanzado grado de deterioro, con evidencias de procesos expansivos y productos de neoformación del tipo sílice criptocristalina y/o aluminosilicatos, típicos de la RAS, en especial en el interior de cavidades de aire accidentalmente atrapado y en microfisuras. La mayoría de las partículas de los agregados presentan bordes de reacción.

En todos los casos analizados, tanto el agregado fino como el agregado grueso fueron evaluados por los métodos convencionales como potencialmente reactivos. Sin embargo el comportamiento de los diferentes sectores no es el mismo. Los más antiguos, situados en el sector centro y universitario son los que se encuentran en mejor estado y no se identificaron minerales de neoformación atribuibles a la RAS. Los pavimentos construidos en la década del '70 (calles Sixto Laspiur y Tarapacá) muestran indicios incipientes de degradación. Mientras que los de menor edad, calle Catamarca y Acceso al CCT, presentan un grado avanzado de deterioro, con evidencias de procesos expansivos y productos de neoformación adjudicados al desarrollo de la reacción álcali-sílice.

Ambiente rural

R1 - Puentes sobre la ruta provincial N° 51:

Se estudió un sector de la ruta provincial N° 51, a unos 60 km de la ciudad de Bahía Blanca, en la zona denominada “Bajo San José” o “7 puentes”, en el límite entre los Partidos de Bahía Blanca y Coronel Pringles (Prov. de Buenos Aires) (Fig. 3: R1). Fueron construidos a mediados de la década del '50 y están emplazados sobre el río Sauce Grande y su valle de inundación. A fines del 2006, se llevó a cabo un relevamiento visual y muestreo del hormigón de pilas, vigas, superficie de rodamiento y estribos de los siete puentes, inclusive uno antiguo de vigas metálicas, con estribos de hormigón, construido en la década del '30, que se encuentra fuera de servicio [20].

El agregado grueso es un canto rodado polimíctico, en cuya composición predominan las cuarcitas, con rocas metamórficas subordinadas. Las primeras tienen cuarzo con extinción ondulante, cementado por cuarzo fino. Entre los granos, es abundante la illita. El agregado fino es una arena natural de composición similar a la del agregado grueso: cuarcitas y rocas metamórficas, a los que se suman cuarzo, feldespatos y escasas rocas graníticas.

Con estereomicroscopio se observó que el hormigón de la carpeta de rodamiento se encuentra en muy buen estado de conservación. Las cavidades de aire accidental están generalmente vacías. No hay productos de reacción ni ettringita. No se aprecian fisuras.

En la zona de estribos se observó un material blanquecino adherido a algunos clastos del agregado grueso, adjudicado a portlandita. El hormigón de la zona de pilares, en concordancia con los sectores humedecidos por agua de lluvia liberada por los drenajes ubicados en vigas exteriores, está muy lavado, dejando el agregado a la vista. Esto provocó el deterioro del hormigón en las zonas de las alcantarillas (parte inferior del tablero y sector lateral de las vigas exteriores). Allí el mortero presenta pobre compacidad, es prácticamente deleznable. No se determinaron productos de neoformación. La mayoría de las cavidades de aire accidental están vacías, aunque algunas están parcialmente rellenas con portlandita y ettringita.

Al microscopio, sobre secciones delgadas, no se observaron fisuras ni fenómenos de reacción. Los contactos agregado –mortero son netos.

R2 - Dique Paso de las Piedras:

En el año 1968 se resolvió la construcción de un dique y embalse sobre el río Sauce Grande en Paso de las Piedras, con un acueducto a la ciudad de Bahía Blanca, para el abastecimiento de agua potable (Fig 3: R2). Simultáneamente y con los mismos materiales, se realizó el camino de acceso desde la Ruta Provincial N° 51, con una extensión de 6 Km [21].

El agregado grueso de este pavimento es un canto rodado polimíctico. Los clastos de mayor tamaño (> 1”) son en su mayoría cuarcitas. Están constituidas por un agregado cristalino de clastos de cuarzo anhedral, de textura sacaroidal, con fuerte extinción ondulante. El tamaño de los cristales varía desde 0,2 hasta 1,5mm. Los bordes son totalmente irregulares y en algunos se evidencia un proceso de crecimiento de los mismos. Estos clastos

están cementados por cuarzo fino, cuyo tamaño oscila entre 30 y 50 micrones. Es frecuente observar texturas miloníticas, consecuencia de los procesos metamórficos que afectaron a la roca. En algunos sectores se observó escasa cantidad de illita asociada, especialmente con el mineral que cementa los cristales de cuarzo. En la composición de los clastos, además de las cuarcitas, participan filitas, esquistos cuarzo micáceos, metamorfitas graníticas y rocas volcánicas. Entre estas últimas se destacan las de composición andesítica.

El agregado fino es una arena natural, cuarcítica, con cantidades subordinadas de metamorfitas graníticas, filitas, andesitas, riolitas con pastas microcristalinas y vítreas, areniscas calcáreas (tosca) y areniscas silíceas ferruginosas. Se pueden observar algunos clastos de anfíboles, micas y titanita.

El hormigón del pavimento presenta buena compacidad. Los contactos agregado – mortero son netos. No hay microfisuramiento. Las fracturas se observaron sólo a nivel macroscópico en direcciones definidas. No se observaron coronas de reacción, ni bordes de disolución. No se identificaron productos de neoformación. Las cavidades de aire accidental aparecen en general vacías. Solo se observaron en forma escasa algunas con las paredes tapizadas con hidróxido de calcio (portlandita), carbonato de calcio (calcita) y muy escasa cantidad de ettringita.

R3 - Aeropuerto Comandante Espora:

La pista del aeropuerto de la ciudad de Bahía Blanca está ubicada en jurisdicción de la Base Aeronaval Comandante Espora y fue construida en el año 1962 (Fig. 3: R3). La pista de aterrizaje está constituida por pavimento flexible mientras que las dos cabeceras y las plataformas de estacionamiento de los helicópteros, por pavimentos rígidos. Estas últimas fueron construidas en una etapa posterior (1985) y reparadas en varias oportunidades. Se estudiaron las dos cabeceras de la pista de aterrizaje, la plataforma de arribo de los aviones militares y las plataformas de estacionamiento de los helicópteros. Algunos sectores presentaban cierto grado de deterioro, presencia de fisuras, agregado grueso expuesto con falta de terminación superficial, y juntas si sellar con sus bordes rotos. En cambio, otras losas se encontraban en perfecto estado de conservación [22].

El agregado grueso del hormigón de las plataformas de estacionamiento está constituido en forma predominante por una piedra partida granítica, con escasa cantidad de metamorfitas. El agregado fino es una arena natural, de origen marino, constituida por cuarzo, valvas carbonáticas, rocas graníticas, cuarcitas (el cuarzo tiene extinción ondulante), rocas volcánicas (con predominio de las básicas sobre las ácidas). La mayoría de estas rocas presentan pastas vítreas parcialmente desvitrificadas. También hay trizas de vidrio volcánico muy fresco y muy escasos piroxenos. El estado del hormigón es muy bueno. Los contactos agregado – mortero son netos, sin evidencias de reacciones de borde. Sólo se observaron escasas microfisuras, muy finas, vacías, no vinculadas con reacciones deletéreas y que sólo afectan a la pasta. Las cavidades de aire accidental están vacías y no se observan coronas de reacción vinculadas a los clastos potencialmente reactivos.

El agregado grueso del hormigón de las cabeceras de pista, es piedra partida granítica. El hormigón se presenta en excelente estado. Se observa

algo de hidróxido de calcio tapizando parcialmente cavidades de aire accidental, aunque la mayoría se encuentran vacías. El agregado fino es una arena natural, de origen marino, constituida por cuarzo, valvas carbonáticas, rocas graníticas, cuarcitas, rocas volcánicas (con predominio de las básicas sobre las ácidas). La mayoría de estas rocas presentan pastas vítreas parcialmente desvitrificadas. Algunos clastos son prácticamente de vidrio. También hay trizas de vidrio volcánico muy fresco. El cuarzo de la cuarcita tiene extinción ondulante. No hay desarrollo de productos de reacción. La zona de interfase presenta bordes netos, sin evidencias de reacciones.

R4 - Ruta de circunvalación a la ciudad de Bahía Blanca:

Se estudió el pavimento de hormigón del camino de circunvalación de la ciudad de Bahía Blanca, realizado en dos etapas constructivas: la primera entre los años 1988 y 1990, y la segunda en el año 1993. Se relevó un tramo de aproximadamente 15 km, dividido en cuatro sectores, algunos de los cuales presentaban un avanzado estado de deterioro [23].

El agregado fino del hormigón más antiguo es una arena natural constituida por abundantes rocas volcánicas, con pastas principalmente vítreas tanto frescas como alteradas (desvitrificadas). En menor proporción se identifica cuarzo, rocas graníticas, feldespato, piroxenos, minerales opacos y carbonato de calcio. Es abundante el vidrio volcánico fresco que se presenta en forma de trizas. El agregado grueso es piedra partida granítica. El hormigón presenta microfisuramiento en la pasta, atravesando también a algunos clastos del agregado fino. Las fisuras se encuentran rellenas con un material anisótropo. Hay carbonatación del mortero. Se observan fisuras en 3 direcciones a 120° que afectan tanto a la pasta como a los clastos, típico de la reacción álcali-sílice. Las cavidades de aire accidental y las microfisuras están parcialmente rellenas por ettringita y carbonato de calcio.

Otro tramo de la ruta, se encuentra en buen estado de conservación. Algunas cavidades de aire accidental están tapizadas con ettringita. Es abundante la carbonatación del mortero. El agregado grueso y fino es el mismo que el descrito en el sector anterior. Se observa un marcado microfisuramiento, que afecta a algunos clastos del agregado fino. El mortero presenta fuerte carbonatación.

El tramo construido en la segunda etapa tiene sectores en el que los agregados presentan bordes de reacción y un material blanco producto de neoformación, desarrollado en la superficie. El estado general del hormigón es bueno. El agregado grueso predominante es piedra partida granítica. También se observa canto rodado constituido principalmente por rocas volcánicas. Como agregado fino se reconocen dos tipos de arena de diferente composición.

En este sector se observan dos hormigones realizados con diferente agregado fino, que corresponden a las dos etapas constructivas del camino. El agregado grueso es el mismo. El que corresponde a la segunda etapa, está constituido por una arena similar a la descripta. Hay mucho vidrio volcánico fresco. Se observan microfisuras parcialmente rellenas, lo que evidencia desarrollo de una RAS incipiente. Hay fuerte carbonatación del mortero. El pavimento de la primera etapa tiene una arena natural de composición diferente. Es de origen marino, con predominio de valvas (carbonato de calcio),

tosca, cuarzo y rocas graníticas. En menor proporción se identificaron rocas volcánicas. El mortero está sano. Solo se observaron microfisuras muy finas, vacías y que afectan sólo a la pasta. No hay evidencias de desarrollo de reacciones deletéreas. Las cavidades de aire accidental también se encuentran vacías.

El último sector de la ruta está en muy buen estado de conservación. El agregado fino está constituido principalmente por valvas carbonáticas, cuarzo, tosca, rocas graníticas, cuarcitas y en menor proporción vulcanitas básicas y ácidas, feldespatos, minerales opacos y piroxenos. El agregado grueso es piedra partida granítica.

Ambiente Marino

M1 - Viaducto en Ing. White:

En la década del ochenta se construyó, en el puerto de Ing. White, la Central Termoeléctrica Luis Piedrabuena y su respectivo muelle, el cual comenzó sus operaciones en el año 1986. (Fig. 3: M1). El muelle está vinculado a tierra firme a través de un viaducto de hormigón armado de 780 m de longitud y 10 m de ancho. Estructuralmente está constituido por un tablero, cinco vigas prefabricadas en tramos continuos de 20 m de luz, que transmiten la carga a dos pilotes encamisados de 1,10 m de diámetro con su respectivo cabezal. Se observaron signos de deterioro tales como: fisuras coincidentes con las armaduras pasivas y otras con trayectorias aleatorias; óxidos lixiviados de tonalidad rojiza, que teñían la superficie; desprendimiento del recubrimiento y armaduras a la vista; pérdida del mortero con exposición del agregado grueso. La parte de la estructura que presentaba mayores signos de deterioro (cabezales de pilotes) está ubicada en zona de salpicaduras [24].

El agregado grueso es un canto rodado polimíctico, constituido principalmente por rocas volcánicas, en su composición predominan las andesitas sobre las riolitas. Son comunes las pastas vítreas, algunas conservan el vidrio fresco pero es más común que se presente argilizado. Es frecuente observar el desarrollo de coronas de reacción hacia el interior de las partículas. A estas rocas se asocian, en menor proporción, tobas líticas y escasas rocas graníticas, metamórficas, cuarzo y valvas carbonáticas. Entre el material tobáceo predominan las rocas vitroclásticas y las tobas líticas, argilizadas que en muchos casos se han transformado en terrones deleznales.

Las partículas tienen buen redondeamiento y son raras las formas planares. Las superficies de los distintos componentes líticos muestran adherencias y crustificaciones carbonáticas y silíceas.

Aproximadamente entre el 30 y 40% de las partículas del agregado grueso han sufrido procesos de alteración intensa. Las andesitas y tobas son las más afectadas. Se presentan muy argilizadas, han perdido su textura y modificado sus propiedades físicas. En menor proporción las riolitas fueron alteradas, pero algunos de sus componentes se conservan y presentan evidencias de su textura original. Las tobas tienen argilizados sus sectores vítreos. La alteración no solo se desarrolla en las partes externas, sino también en el interior de algunas partículas.

El agregado fino es una arena de composición litológica similar, aunque el contenido de cuarzo es mayor. Está constituido por granos de vulcanitas,

tobas, cuarcitas, algunas rocas graníticas y cuarzo. Es escasa la cantidad de calcedonia, mineral que aparece en algunos individuos como cemento de las areniscas. Se observaron trizas de vidrio volcánico alterado, reemplazadas por minerales secundarios.

El proceso de cementación es homogéneo, no se observaron discontinuidades y la porosidad es normal. Algunas cavidades de aire accidental encontradas se presentan parcialmente rellenas por carbonato de calcio y alúminosilicatos (zeolitas). Los testigos presentan un fracturamiento transversal al eje longitudinal del mismo. En todos los casos, se observó una adherencia pronunciada, principalmente de calcita con alúminosilicatos subordinados. Si bien en general se puede asegurar que se disponen sobre la superficie del agregado grueso, a veces atraviesa la partícula, especialmente cuando la misma es una toba. El relleno de las fracturas se realiza por la precipitación de carbonatos, alúminosilicatos y materiales amorfos. En estos sectores se observaron coronas de reacción, mortero con su textura obliterada y tobas muy argilizadas. En las muestras correspondientes a la zona de salpicaduras, el proceso de la reacción se intensifica, con desarrollo de abundante material de neoformación.

En los clastos del agregado es frecuente observar planos de debilidad originales (fracturas, diaclasas, zonas débiles), apropiadas para la circulación del agua y desarrollo de RAS. Las texturas y composición mineralógica de las rocas volcánicas permiten agruparlas como rocas porfíricas, parcialmente afaníticas con cantidades variables de vidrio volcánico fresco y parcialmente desvitrificado.

M2 - Espigones en Monte Hermoso:

La ciudad balnearia de Monte Hermoso está situada sobre la costa atlántica, en el SO de la Provincia de Buenos Aires, a unos 110 km de la ciudad de Bahía Blanca. (Fig. 3: M2). A principios de los '70, se construyeron dos espigones mediante el hincado de pilotes de hormigón armado: el denominado "espigón Oeste" diseñado para la actividad pesquera, y el "espigón Este" para el desagüe de los efluentes de la planta depuradora cloacal. Se construyeron mediante el hincado de pilotes de hormigón armado de 0,50 m de diámetro, que sostenían una estructura de 230 m de longitud y 4 m de ancho [25].

Los dos espigones estudiados fueron realizados con una arena natural de origen marino, constituida en forma predominante por rocas volcánicas, con cuarzo, feldespato, rocas graníticas y valvas carbonáticas subordinadas. Se identificaron además minerales opacos, trizas de vidrio volcánico y piroxenos.

El agregado grueso es una piedra partida granítica en el espigón Este y además de esta roca, se identificaron metamorfitas en el espigón Oeste. Con estereomicroscopio se observaron materiales de neoformación desarrollados en la superficie del hormigón y en la zona de interfase con la armadura.

M3 - Estructura Av. Argentina en Monte Hermoso:

Se realizó un relevamiento en una estructura de hormigón armado cuya entrada está ubicada en la primera calle paralela a la costanera, es decir a 100 metros de la línea de costa. (Fig. 3: M3). La construcción comenzó en 1985 y

en su proyecto original el edificio fue diseñado con un subsuelo, planta baja y seis pisos, pero a mediados de 1989 la construcción fue suspendida por lo que solo se terminó el esqueleto de hormigón hasta el primer nivel de pisos. Desde entonces el hormigón de columnas, vigas y losas se encuentra a la intemperie, en línea directa con la brisa marina ya que no existe ninguna construcción que se interponga entre el edificio y la línea de costa.

En todas las muestras analizadas, el agregado grueso es una piedra partida granítica y en algunos casos, se observaron además cuarcitas. El agregado fino es una arena natural de origen marino, constituida en forma predominante por rocas volcánicas y valvas carbonáticas, con cuarzo y feldespato subordinados.

En ninguna de las muestras estudiadas se observó microfisuramiento ni productos de neoformación. El hormigón presenta muy buena compacidad, la zona de interfase presenta bordes netos, sin evidencias de reacciones y las cavidades de aire accidentalmente atrapado, se encuentran vacías.

Se pudieron observar diferentes tonalidades en la zona circundante a las armaduras que presentaban un avanzado estado de corrosión, identificándose óxidos e hidróxidos de hierro.

En la Tabla 1 se resume el tipo de agregado utilizado, los materiales potencialmente reactivos, las alteraciones y los productos de neoformación, identificados en el hormigón de las distintas obras.

En la Fig. 4 se muestran las características petrográficas de los agregados (canto rodado, piedra partida y arena). La Fig. 4a. muestra la piedra partida granítica con cuarzo con extinción ondulante y feldespatos alterados principalmente a illita, vista con microscopio de polarización sobre secciones delgadas con nicoles cruzados. La Fig. 4b. corresponde a la piedra partida cuarcítica. Se observa cuarzo con extinción ondulante, cuarzo fino recrystalizado y una venilla con illita (con nicoles cruzados). La Fig. 4c. muestra el canto rodado visto con estereomicroscopio. Se observan partículas de rocas volcánicas y una cuarcita. En la Fig. 4d. se observa la composición litológica de la arena de origen marino. Se identifican valvas carbonáticas, partículas de rocas volcánicas con pastas vítreas, cuarzo y trizas de vidrio (con luz paralela). La Fig. 4e. muestra la composición de la arena de origen fluvial (con nicoles cruzados), con cuarzo, rocas graníticas y menor cantidad de vulcanitas y feldespatos. En la Fig. 4f se muestra una partícula de arena con calcedonia.

En la Fig. 5 se muestran los diferentes estados de conservación de las muestras de hormigón de las obras relevadas. En la Fig. 5a. se observa el contacto neto entre una partícula de piedra partida granítica y el mortero, visto con estereomicroscopio. En la Fig. 5b. se muestra partículas de canto rodado con coronas de reacción y abundante desarrollo de productos de neoformación. En la Fig. 5c se observa productos de neoformación desarrollados sobre la superficie del mortero y en la interfase con la armadura. En la Fig. 5d se muestra un mortero con microfisuras en tres direcciones a 120° que atraviesan una partícula de roca volcánica, visto con microscopio de polarización (luz paralela). La Fig. 5e muestra dos cavidades de aire accidentalmente atrapado rellenas con ettringita (con nicoles cruzados). La Fig. 5f corresponde a un hormigón elaborado con piedra partida cuarcítica, con cristalización de ettringita en cavidades y una fisura que separa el agregado del mortero.

Tabla 1: Resumen de los resultados de los ensayos petrográficos

OBRA	Materiales potencialmente reactivos		Desarrollo de RAS	Alteraciones	Productos de neoformación identificados
	Ag. Grueso	Ag. Fino			
Canal Maldonado	---	RVPV, VVF, calcedonia	No	---	calcita, portlandita, ettringita
Estructura Centro Cívico	---	RVPV, VVF	No	---	---
Autovía acceso ciudad	PP granítica: QEO	RVPV	No	exudados, argilización de minerales	calcita, portlandita, ettringita
Pavimentos urbanos: acceso CCT y calle Catamarca	CR: RVPV PP: cuarcita	RVPV, VVF, QEO	Sí	Clastos con coronas de reacción, microfisuramiento	calcita, portlandita, ettringita
Puentes Ruta Prov. N° 51	CR: QEO	---	No	---	portlandita, ettringita, hematita
Dique Paso de las Piedras	CR: QEO, RVPV	RVPV	No	desprendimiento de partículas esquistosas	calcita, portlandita, ettringita
Aeropuerto Comandante Espora	CR: RVPV	QEO, RVPV, VVF, calcedonia	No	---	portlandita
Ruta Circunvalación	---	RVPV, VVF	Sí	exudados, clastos fracturados y con coronas de reacción, fisuramiento en forma de mapa del hormigón	calcita, portlandita, ettringita
Viaducto Ing. White	CR: RVPV, tobas vitroclásticas argilizadas, sílice criptocristalina	RVPV, calcedonia, VVA	Sí	exudados, clastos fracturados y con coronas de reacción, fisuramiento en forma de mapa del hormigón	calcita, zeolitas: clinoptilolita y chabacita de potasio, magnetita, hematita
Espigones Monte Hermoso	---	RVPV, VVF	No	---	ettringita, brucita, $\text{SO}_4^{=}$ y $\text{CO}_3^{=}$ de Mg, lepidocrocita, akaganeita
Estructura Monte Hermoso	---	RVPV	No	---	magnetita, hematita, goetita/lepidocrocita

Referencias Tabla 1:

CR: canto rodado; **PP:** piedra partida; **RVPV:** rocas volcánicas con pastas vítreas; **VVF:** vidrio volcánico fresco; **VVA:** vidrio volcánico alterado; **QEO:** cuarzo con extinción ondulante.

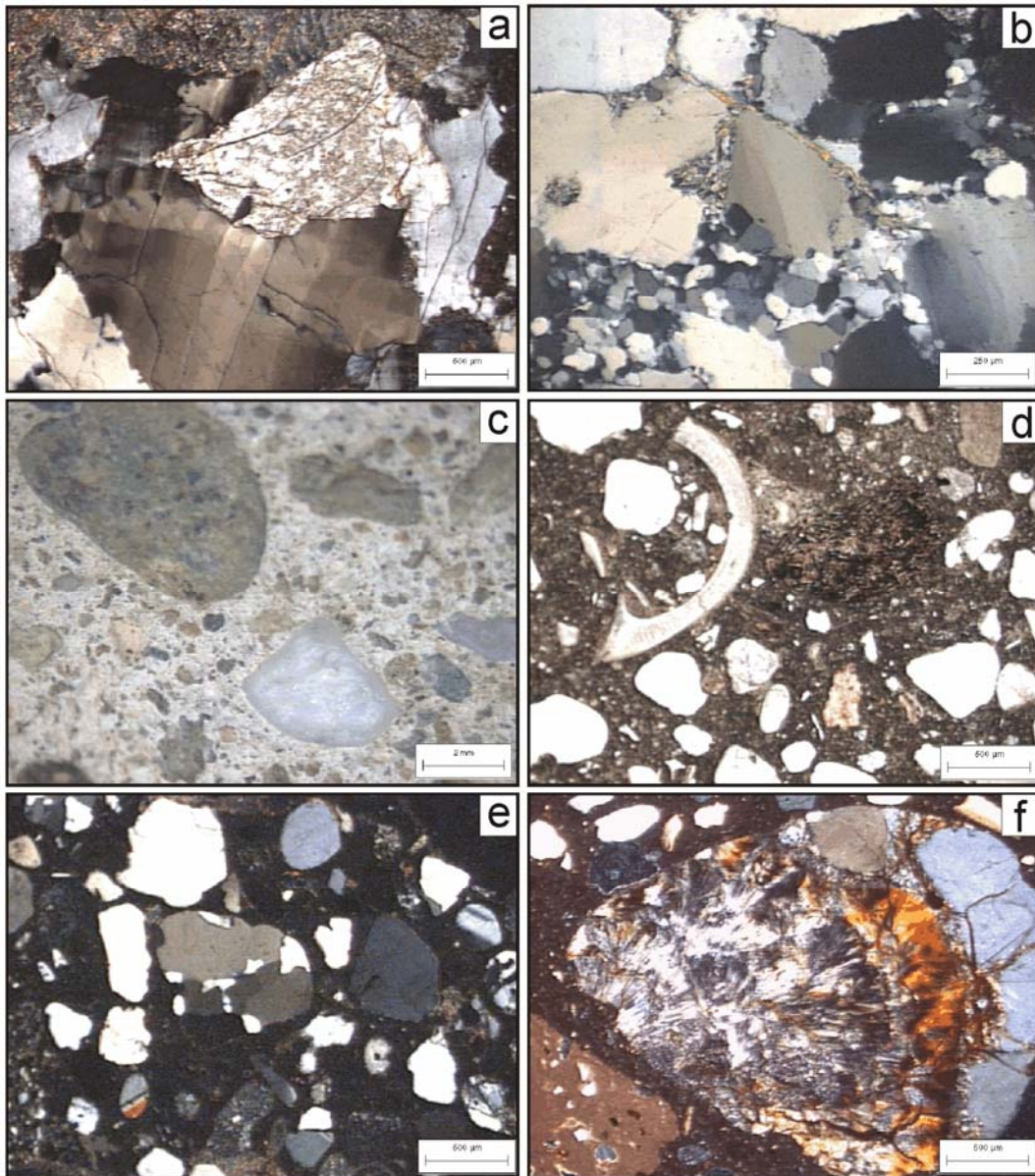


Figura 4: 4a. Piedra partida granítica con cuarzo con extinción ondulante (con nicoles cruzados). 4b. Piedra partida cuarcítica, con cuarzo con extinción ondulante, cuarzo fino recrystalizado y una venilla con illita (con nicoles cruzados). 4c. Canto rodado polimíctico visto con estereomicroscopio. 4d. Arena de origen marino con valvas carbonáticas, partículas de rocas volcánicas con pastas vítreas, cuarzo y trizas de vidrio (con luz paralela). 4e. Arena de origen fluvial (con nicoles cruzados), con cuarzo, rocas graníticas y menor cantidad de vulcanitas y feldespatos. 4f. Partícula de arena con calcedonia.

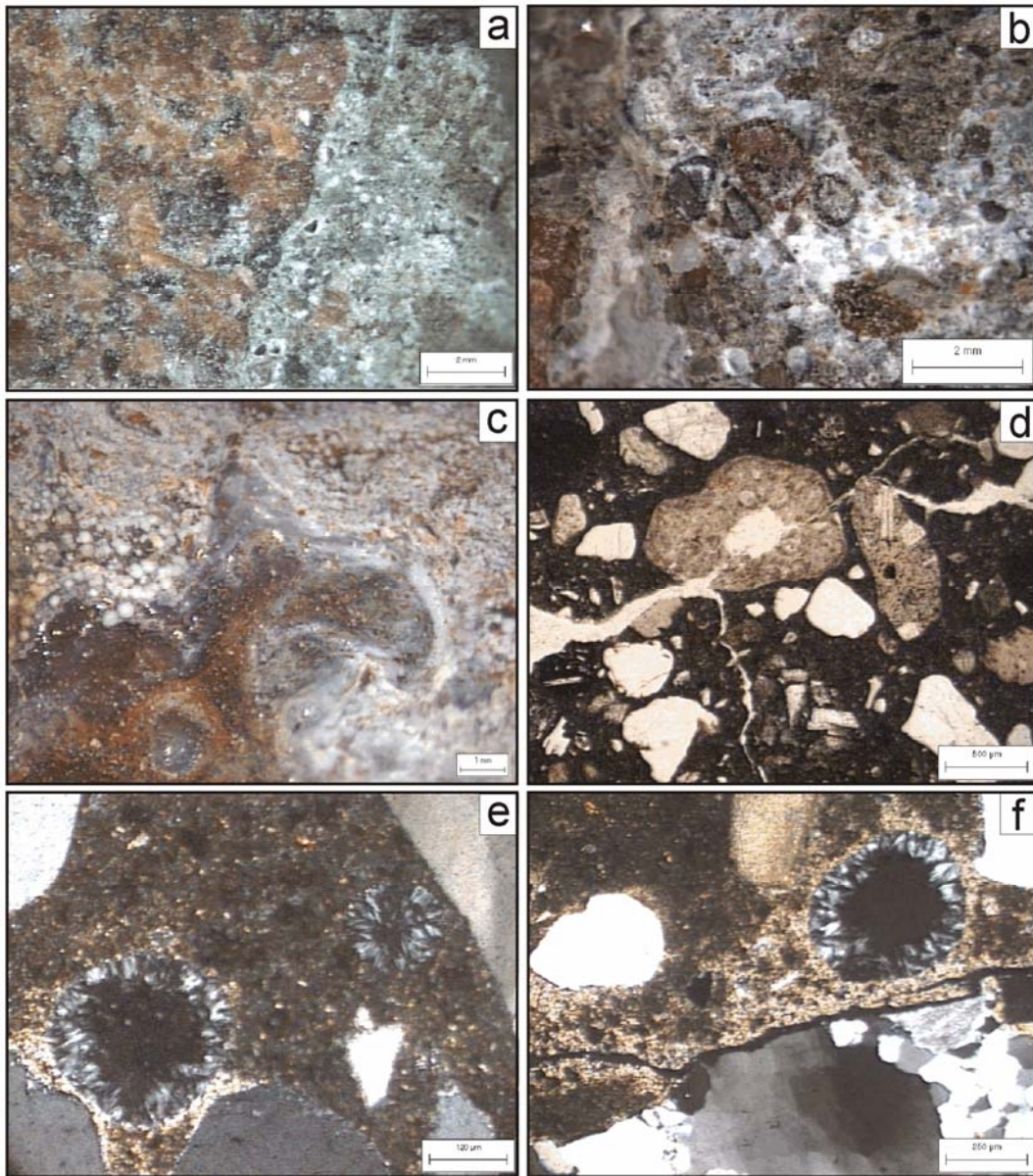


Figura 5: 5a. Contacto neto entre una partícula de piedra partida granítica y el mortero (con estereomicroscopio). 5b. Canto rodado con coronas de reacción y abundante desarrollo de productos de neoformación. 5c. Productos de neoformación desarrollados sobre la superficie del mortero y en la interfase con la armadura. 5d. Mortero con microfisuras en tres direcciones a 120° que atraviesan una partícula de roca volcánica, visto con microscopio de polarización (luz paralela). 5e. Cavidades de aire accidentalmente atrapado rellenas con ettringita (con nicoles cruzados). 5f. Hormigón con cristalización de ettringita en cavidades y una fisura que separa una partícula de cuarcita, del mortero.

Discusión

Los materiales utilizados como agregado en los hormigones estudiados en la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia tienen, en general, composición litológica semejante.

Como agregado grueso se identificó piedra partida granítica en el 50 % de las obras analizadas y canto rodado polimíctico en el resto. En la composición de éste último predominan las rocas volcánicas (andesitas, riolitas y tobas), la mayoría con pastas vítreas en general alteradas (desvitrificadas), en menor proporción se identificó cuarzo, rocas graníticas y escasas metamorfitas. En general, se observó que el hormigón de las estructuras de mayor edad está compuesto por piedra partida, mientras que las más jóvenes, por canto rodado.

El agregado fino en todos los casos es una arena natural, aunque varía el origen (eólico, fluvial y marino). La composición litológica de todos ellos es semejante y a su vez similar a la del canto rodado. Predominan ampliamente las rocas volcánicas, a lo que se debe sumar las trizas de vidrio fresco que en algunos casos supera el 10 %. La única diferencia es la presencia de valvas carbonáticas en las de origen marino.

Desde el punto de vista petrográfico el canto rodado y las arenas son potencialmente reactivos frente a la RAS. A pesar de ello, sólo tres de las obras estudiadas están afectadas por esta patología. Esto se debe a que para que se desarrolle este tipo de reacción se necesitan tres factores concurrentes: agregados deletéreos, elevado contenido de álcalis y humedad.

Se encontró una relación entre los pavimentos afectados por reacciones deletéreas como la RAS y la edad, ya que los hormigones deteriorados por esta patología corresponden a los construidos en la década del '80, a pesar que los agregados utilizados fueron los mismos en todos los casos. En esa época, por problemas de abastecimiento, llegaron a la ciudad de Bahía Blanca cementos provenientes de otras zonas del país (Córdoba) e incluso del exterior (Chile). Dichos cementos presentaban tenores de NaO_2 equivalente superiores al 1 %. Por lo tanto, el desarrollo de la RAS en la mayoría de los pavimentos construidos en la década del '80, se atribuye a la utilización de cementos con alto contenido de álcalis.

En el caso de los pavimentos del barrio Noroeste debe sumarse un factor ambiental. Se considera que el microclima jugó un rol importante ya que es una zona muy baja, donde el nivel freático está muy cerca de la superficie, con variaciones estacionales que hace que en la estación más lluviosa llegue a pocos centímetros del suelo poniendo al hormigón en contacto con humedad muy elevada.

El microclima generado en los diversos elementos estructurales del viaducto de Ing. White, también fue determinante para el desarrollo de la RAS. Si bien todas las muestras presentan evidencias de esta patología, ésta se intensifica en la zona de salpicaduras frente a la zona seca.

Conclusiones

- Una causa de deterioro, que en el área de estudio es significativa por la tipología mineralógica y petrográfica de los agregados que se utilizan rutinariamente, es el desarrollo de la reacción álcali-sílice en sus distintas

manifestaciones, que van desde una etapa inicial hasta aquella en que el elemento estructural aparece altamente fisurado.

- Teniendo en cuenta que la mayoría de los materiales disponibles en la zona de Bahía Blanca, para ser utilizados como agregados para hormigón, son calificados petrográficamente como potencialmente reactivos frente a la RAS, se deben realizar los ensayos necesarios para confirmar o desechar la probabilidad de la misma.
- Cuando se utilizan agregados potencialmente reactivos debe considerarse si la obra estará emplazada en un ambiente con elevada humedad. Se comprobó que la proximidad del nivel freático a la superficie, falta de escurrimiento del agua de lluvia y los ciclos de humedecimiento y secado contribuyen al desarrollo de la RAS.
- A partir de los casos estudiados fue posible concluir que en algunas de las obras no hubo una correcta planificación a la hora de elegir los materiales y establecer la calidad del mismo, ya que se utilizaron agregados potencialmente reactivos frente a la RAS sin un control en el contenido de álcalis del cemento y/o de los factores externos medioambientales, como el ingreso de agua y/o el aporte de álcalis por parte del agua de mar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería, Departamento de Geología y a la SECyT de la Universidad Nacional del Sur, a la CIC de la Prov. de Buenos Aires y al CONICET por el apoyo brindado para el desarrollo de estas investigaciones.

Referencias

- [1] T. Stanton: *Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 66, N° 10. (1940), 1781-1811.
- [2] A. Fava, R. Manuele, J. Colina y C. Cortelezzi: *Estudios y experiencias realizadas en el LEMIT sobre la reacción que se produce entre el cemento y los agregados en el hormigón de cemento portland*. Simposio sobre pavimentos de hormigón, Buenos Aires. (1960), 313-349.
- [3] O. Batic y J. Sota: *Reacciones deletéreas internas*. Durabilidad del hormigón estructural. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Capítulo 4. (2001), 157-216.
- [4] O. Batic, G. Giaccio y R. Zerbino: *Comportamiento mecánico del hormigón afectado por la RAS*. Revista Hormigón N° 44. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. (2007), 29-37.
- [5] P. Maiza y S. Marfil: *Petrografía del hormigón endurecido: estudio de un pavimento con patologías*. Revista Hormigón N° 35. (2000), 11-21.
- [6] S. Marfil y P. Maiza: *Los agregados gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca (Prov. de Buenos Aires), en relación con la reacción álcali-agregado*. Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón. Córdoba. (1993), Tomo I, 1-10.
- [7] P. Maiza y S. Marfil: *Principales yacimientos de arena, canto rodado y piedra partida, utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca, Prov.*

de Buenos Aires. Primer Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del MERCOSUR. Santa Fe. (1997), 253-264.

[8] S. Marfil, P. Maiza y R. Salomón: *Petrografía del hormigón endurecido afectado por la reacción álcali-sílice*. Geoacta, Vol. 27. (2002), 1-15.

[9] P. Maiza y S. Marfil: *Estudio de cortes delgados sobre barras de mortero con agregados finos y gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca*. Revista Hormigón, N° 19. (1991), 31-39.

[10] P. Maiza, O. Batic, S. Marfil y J. Sota: *Reactividad alcalina potencial de rocas riolíticas como agregados para hormigón*. XV Reunión Técnica, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Santa Fe. (2003).

[11] Reglamento CIRSOC 201, 1982: *Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado*. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Argentina. (1982).

[12] J. Farny y S. Kosmatka: *Diagnosis and control of alkali-aggregate reactions in concrete*. PCA, R&D Serial N° 2071 (IS413.01T). Concrete Information, Portland Cement Association. (1997), p. 24.

[13] A. Poole: *Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete*. Blackie, Glasgow and London. (1992), 1-29.

[14] O. Batic y J. Sota: *El agravamiento de la RAS por el ambiente marino*. Revista Hormigón N° 22. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. (1992), 5-12.

[15] L. Señas, C. Priano, P. Maiza y S. Marfil: *Evaluación del deterioro en el hormigón del canal aliviador "Maldonado" (Bahía Blanca, Argentina)*. Simposio Internacional FIB (Federación Internacional del Hormigón). El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo. La Plata, Argentina. Vol. 1. (2005), 283-290.

[16] C. Priano, P. Leonardo, L. Señas y S. Marfil: *Biodeterioro en estructuras de hormigón en ambientes urbanos, rurales y marinos de la Prov. de Bs. As.* III Congreso Internacional. 17ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Córdoba (2008), 241-248.

[17] P. Maiza y S. Marfil: *Estallido de una placa de hormigón en una autopista de la ciudad de Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires - Argentina)*. IX Congreso Latinoamericano de Patología y XI Congreso de Control de Calidad en la Construcción. Quito. Ecuador. (2007), p. 8.

[18] P. Maiza, S. Marfil, J. Sota y O. Batic: *Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de reactividad potencial alcalina en áridos finos utilizados en Bahía Blanca y Punta Alta, Prov. de Buenos Aires*. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Bahía Blanca (1988), 697-709.

[19] S. Marfil. Tesis doctoral. Biblioteca Central de la Universidad Nacional del Sur (1989).

[20] C. Priano, P. Maiza, L. Señas y S. Marfil: *Evaluación del estado del hormigón de 7 puentes ubicados en el Bajo San José, sobre la ruta Provincial N° 51 (Buenos Aires)*. 7º Congreso de Metalurgia y Materiales. San Nicolás. (2007), 926-931.

[21] C. Priano, L. Señas, S. Marfil y P. Maiza: *Estudio del pavimento de hormigón de la ruta de acceso al Dique Paso de las Piedras (Partido de Cnel. Pringles, Prov. de Buenos Aires, Argentina)*. 1er. Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Asunción, Paraguay (2007), p. 7.

- [22] C. Priano, S. Marfil y L. Señas: *Evaluación del deterioro del hormigón de las cabeceras de pista de la Base Aeronaval Comandante Espora. (Bahía Blanca, Argentina)*. IX Congreso Latinoamericano de Patología y XI Congreso de Control de Calidad en la Construcción Quito. Ecuador. (2007), p. 8.
- [23] C. Priano, S. Marfil y L. Señas: *Ruta de circunvalación a la ciudad de Bahía Blanca. Evaluación del deterioro del pavimento de hormigón*. 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Mendoza. (2006), 307-314.
- [24] L. Señas, P. Maiza, C. Priano y S. Marfil: *Patologías desarrolladas en una estructura de hormigón en zona marítima*. VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR Córdoba. (2010), p. 14.
- [25] C. Priano, L. Traversa, S. Marfil y A. Marcos. *Evaluación del hormigón de los espigones del balneario Monte Hermoso (Prov. de Buenos Aires)*. VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR Córdoba. (2010), p. 13.